



<https://www.doi.org/10.33910/2686-9519-2024-16-1-117-127>
<http://zoobank.org/References/4de4ead8-6418-4a0c-b57f-9c68de430666>

УДК 598.244.2+502.2.08

Использование линных перьев и скорлупы яиц для мониторинга популяций редких видов птиц (на примере ООПТ)

И. А. Никитина✉, Р. С. Андропова

ФГБУ «Заповедное Приамурье», ул. Серышева, д. 60, 680038, г. Хабаровск, Россия

Сведения об авторах

Никитина Ирина Александровна
E-mail: nauka-khekh@mail.ru
SPIN-код: 2836-5355

Андропова Римма Сабировна
E-mail: rim.andronova@gmail.com

Права: © Авторы (2024). Опубликовано Российским государственным педагогическим университетом им. А. И. Герцена. Открытый доступ на условиях лицензии CC BY-NC 4.0.

Аннотация. Данное исследование проведено для определения возможности использования линных перьев и скорлупы яиц в качестве биоиндикаторов для оценки уровня накопления микроэлементов в организме редких птиц. С этой целью были определены концентрации элементов, в том числе токсичных тяжелых металлов, в биологических образцах дальневосточного аиста из районов гнездования в Хабаровском крае на особо охраняемых природных территориях: в государственном природном заповеднике «Болоньский» и природном парке «Шереметьевский» в бассейне р. Амур. Оценка содержания поллютантов в очинах и опахале линных перьев и в скорлупе яиц аистов проводилась методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на приборе ICP-MS Elan 9000. Выявлено, что анализ состава очин линных перьев и скорлупы яиц позволяет оценивать уровень депонирования микроэлементов из пищевых цепей, что характеризует данный неинвазивный метод биоиндикации как перспективный для экологического мониторинга редких птиц.

Ключевые слова: бассейн Амура, заповедник, природный парк, дальневосточный аист, линные маховые перья, скорлупа яиц, микроэлементы

Molting feathers and eggshells in monitoring rare bird species populations: Evidence from special protected natural territories

I. A. Nikitina✉, R. S. Andronova

FSBI Zapovednoe Priamur'e, 60 Serysheva Str., 680038 Khabarovsk, Russia

Authors

Irina A. Nikitina
E-mail: nauka-khekh@mail.ru
SPIN: 2836-5355

Rimma S. Andronova
E-mail: rim.andronova@gmail.com

Copyright: © The Authors (2024). Published by Herzen State Pedagogical University of Russia. Open access under CC BY-NC License 4.0.

Abstract. This study was conducted to determine the possibility of using flight feathers and eggshells as bioindicators to assess the levels of accumulated trace elements in the bodies of rare birds. To achieve this goal, concentrations of elements, including toxic heavy metals, were determined in biological samples of the Oriental White Stork. The samples were obtained from nesting areas in the Khabarovsk Krai in specially protected natural areas: the State Nature Reserve "Bolonsky" and the Nature Park "Sheremetevsky" in the Amur River basin. The assessment of pollutant content in the edges and vane of flight feathers and in stork eggshells was performed using inductively coupled plasma mass spectrometry on ICP-MS Elan 9000. It was found that the analysis of the composition of the edges of molted feathers and eggshells allows to assess the deposition level of trace elements from food chains, which characterizes this non-invasive method of bioindication is non-invasive and holds promise for the ecological monitoring of rare birds.

Keywords: Amur River basin, reserve, natural park, Oriental White Stork, molted flight feathers, egg shell, trace elements

Введение

Состояние окружающей среды и изменение естественного геохимического фона имеют для обитателей дикой природы определяющее значение. Из направлений экологического мониторинга оценка накопления птицами поллютантов, прежде всего тяжелых металлов, получила развитие в течение последних десятилетий с появлением более точных аналитических методов с высокой чувствительностью. Концентрации депонированных тяжелых металлов у птиц можно оценивать в органах, а также в оставленных во внешней среде их производных — перьях, скорлупе яиц. Видовая специфика накопления химических элементов птицами определяется составом и особенностями питания, средой обитания, миграционной активностью и т. д. Так, концентрации мышьяка больше в организме хищных и рыбадных птиц; концентрации кадмия у растительноядных птиц на один-два порядка выше, чем у хищных и всеядных; накопление свинца в скелете протекает интенсивнее у наземных птиц, по сравнению с водными (Лебедева 1999). Показательно свинцовое и кадмиевое загрязнение перьев водоплавающих и городских птиц (Добровольская 1984; Burger 1993; Еськов, Кирьякулов 2008; Markowski et al. 2013 и др.).

Использование линных перьев и скорлупы яиц в качестве биологических индикаторов может быть предпочтительно как бесконтактный метод оценки экологического состояния особей и популяций, особенно актуальный для редких видов, находящихся под угрозой исчезновения. На особо охраняемых природных территориях такой метод может решить проблему организации экологического мониторинга популяций редких видов. Исследователями отмечено, что в перьевом покрове преимущественно накапливаются Zn, Cr, Cu, Ni, Hg (Добровольская 1984; Лебедева 1999 и др.).

Геохимическое своеобразие территории, на которой птица проводит значительное

время, также проявляется в микроэлементном составе оперения (Добровольская 2004). Причем уровень элементов в перьях является интегральным показателем, отражающим содержание элементов геохимического фона, отличного в разных районах ареала птиц, включая и места зимовки.

В период роста перья связаны с кровеносными сосудами, поступающие с пищей элементы могут встраиваться в кератиновые структуры пера. Уровень накопления токсикантов отражается на росте и физиологическом состоянии птенцов (Burger 1993). У взрослых птиц оперение увеличивает экзогенное загрязнение, вызванное средообразующими факторами, адсорбируя металлы на поверхности опахала. Установлено, что концентрации элементов, в частности тяжелых металлов, в опахале перьев наибольшие и зависят от уровня загрязнения окружающей среды. По мнению некоторых авторов, анализ токсичных элементов в линных перьях водоплавающих птиц более адекватно характеризует экологическое состояние аквальных экосистем, нежели определение их валового содержания в воде и донных отложениях (Сливинский 2013).

Птицы сбрасывают перья во внешнюю среду в ходе линьки. Два цикла линьки (один из них неполный) характерны для многих, главным образом перелетных птиц (Войткевич 1962). У мигрантов большая часть или весь перьевой покров целиком сменяются вслед за периодом размножения. Загрязнение в перьях, собранных в конце лета-осенью, характеризует экологию гнездовых местообитаний. Накопление концентраций загрязнений в опахале пера происходит в течение длительного отрезка времени на различных географических территориях.

Проблемой в определении биоаккумуляции элементов сегодня является отсутствие стандартных методов и данных о составе и содержании микроэлементов в перьях птиц для определения реперных значений местообитаний с различным уровнем загрязнения. В некоторых случа-

ях для оценки состояния здоровья птиц на основе состава перьев разрабатываются центильные шкалы содержания химических элементов (Степанова 2020), которые не могут быть универсальными.

Объектом исследования выбран дальневосточный аист *Ciconia boyciana* Swinhoe, 1873 — вид, находящийся под угрозой исчезновения, эндемик Восточной Азии. Ареал гнездования на материке распространяется от Центрального Китая на север до оз. Болонь (Россия), в направлении с запада на восток — от Зейско-Буреинской равнины (Россия) до Корейского полуострова (Красная книга Российской Федерации... 2021). Места зимовки находятся преимущественно на юго-востоке Китая на водно-болотных угодьях р. Янцзы. В гнездовом ареале на территории России обитает на водно-болотных угодьях бассейна р. Амур, где остается с конца марта по октябрь. В питании животные объекты, главным образом речная и озерная рыба. Годовой цикл линьки с постепенной заменой маховых перьев начинается в конце гнездового периода, смена контурного оперения у молодых птиц наблюдается перед осенней миграцией (Андропова 2000; Андронов 2006).

Целью данной работы является изучение накопления микроэлементов в линных перьях и скорлупе яиц дальневосточного аиста из разных мест гнездования в Хабаровском крае, а также его оценка как метода проведения мониторинга популяционного статуса редких птиц на ООПТ. Результатом работы служит создание базы данных концентраций микроэлементов в биообразцах дальневосточного аиста из естественной среды обитания.

Материал и методы

Преимущество линных перьев перед иными биологическими объектами индикации загрязнения заключается в доступности их сбора без вреда для птиц, простоте хранения образцов. Некоторую сложность в определении величины биоаккумуляции металлов, поступающих с

пищей, вызывает загрязнение перьев, вызванное атмосферными осадками, пылью, органическими отложениями от чистки их птицами. Действие средообразующих факторов удалось отделить от пищевого, привлекая для анализа нижнюю часть стержня пера (очин), погруженного в кожу (Borghesi et al. 2017).

Биологические образцы дальневосточного аиста были коллектированы в местах гнездования в трех районах Хабаровского края: Бикинском, Вяземском и Амурском. Сбор линных перьев и фрагментов скорлупы яиц проводился под гнездами в апреле-августе 2020–2022 гг. в природном парке «Шереметьевский», его окрестностях и в государственном природном заповеднике «Болоньский» (рис. 1). В анализе использовались преимущественно нижние концы перьевых стержней — очины (10 проб), предварительно отмытые дистиллированной водой, высушенные до воздушно-сухого состояния (в. с.) и измельченные. В качестве элементов сравнения использовались пуховые части и опахала контурных перьев (четыре пробы). Фрагменты скорлупы яиц (восемь проб) были освобождены от внутренней подскорлуповой оболочки и измельчены в ступке.

Определение тяжелых металлов и микроэлементов в биоматериалах дальневосточного аиста выполнялось в лаборатории Инновационно-аналитического центра Института тектоники и геофизики им. Ю. А. Косыгина ДВО РАН методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на приборе ICP-MS Ean 9000 (Канада), свидетельство о поверке № 75251260. Биологические пробы анализировались согласно ПНД Ф 16.1:2.3:3.11-98. Выполнение измерений содержания металлов в твердых объектах осуществлялось методом ИСП-МС. Предварительная пробоподготовка заключалась в полной минерализации образцов в смеси азотной кислоты и пероксида водорода в соответствии с МКУ 4.1.985-00 и МИ 2221-92. В образцах определено валовое содержание 23 химических элементов: Be, Al, V, Cr, Mn,

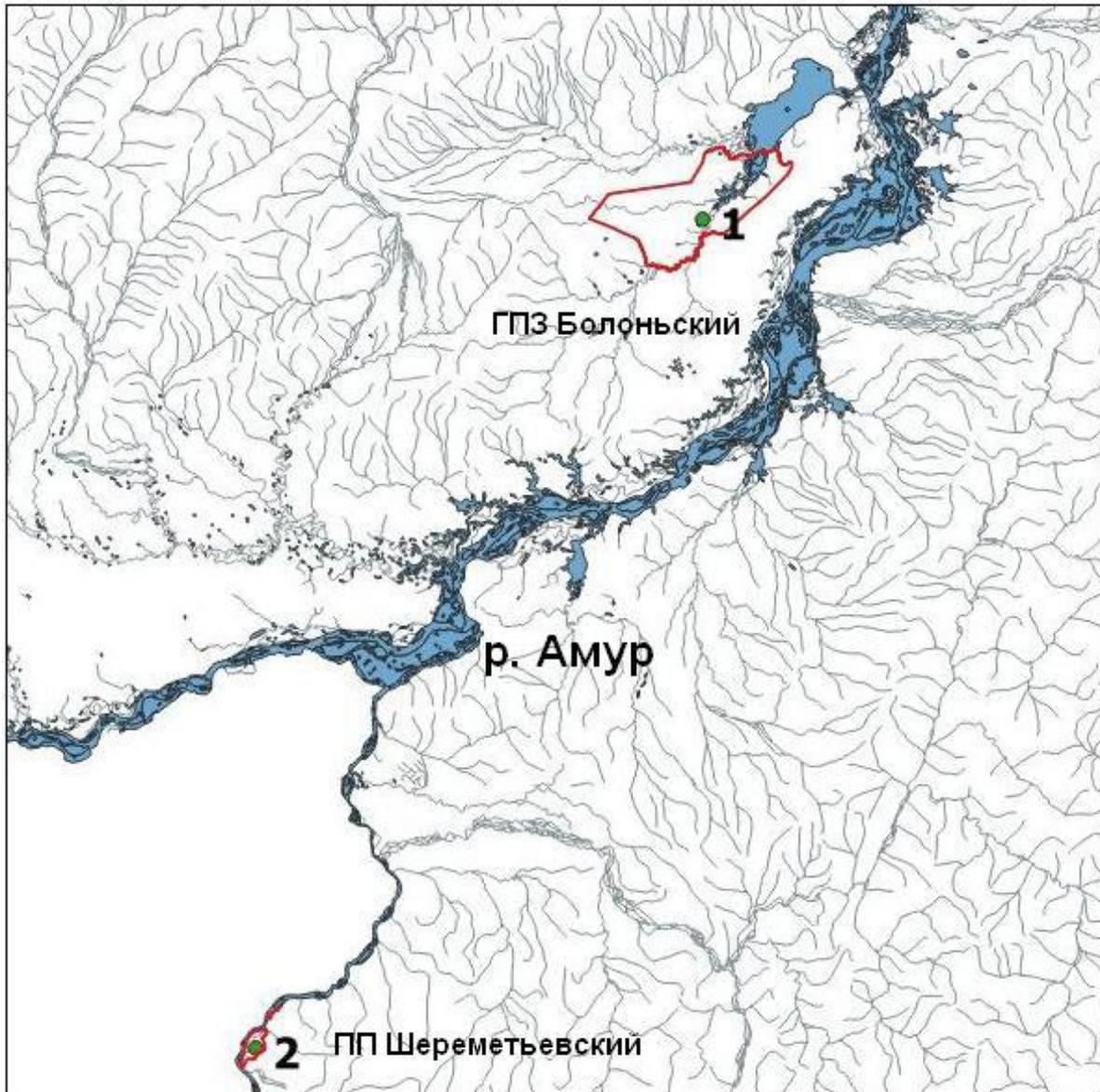


Рис. 1. Схема точек отбора проб на ООПТ в бассейне Амура

Fig. 1. Map of sampling points at the protected areas in the Amur River Basin

Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Sr, Mo, Ag, Cd, Sn, W, Hg, Tl, Pb, Bi, U.

Результаты и обсуждения

Выбор элементов определился тем, что большинство из них являются трассерами антропогенного воздействия как в местах гнездования дальневосточного аиста в Хабаровском крае, так и в районах зимовки (КНР). Результаты исследований линных перьев аистов, полученные в 2021–2022 гг. для одного из самых крупных гнездовых участков в Хабаровском крае — природного парка «Шереметьевский» и сопредель-

ных с ним островов поймы р. Усури, представлены в таблице 1. Размер выборки проб объясняется малодоступностью гнезд редкого вида птиц и достаточно быстрой утилизацией биоматериалов в природе.

В качестве результатов измерений концентраций микроэлементов приняты средние концентрации с учетом стандартного отклонения (СТО). В качестве первичных фоновых значений определены медианные значения (Me), которые могут в дальнейшем мониторинге использоваться для расчета пороговых значений элементов ($Me+2MAD$) (Чернова, Коженкова 2020).

Таблица 1

**Содержание химических элементов в линных перьях: очинах (ОЧ),
пуховых частях и опахале (ОП) контурных перьев аистов природного парка
«Шереметьевский» в 2021–2022 гг.**

Table 1

**Content of chemical elements in molting feathers: edges of molted feathers (EMF),
downy parts (DP) and vane of contour feathers (VCF) of the Oriental White Stork, the
Sheremetyevsky Natural Park, 2021–2022**

Элемент Chemical element	Ср. конц. ОЧ ± СТО, мг/кг Average concentration EMF ± STD, mg/kg n = 10	Me, мг/кг Me, mg/kg n = 10	Ср. конц. пуховых частей ± СТО, мг/кг Average concentration DP ± STD, mg/kg n = 3	Конц., ОП контур. пера, мг/кг Concentration VCF, mg/kg
Be	0,003 ± 0,002	0,002	0,001 ± 0,000	0,143
Al	18,692 ± 16,850	13,755	117,078 ± 27,478	658,671
V	0,000 ± 0,000	0,000	0,000 ± 0,000	0,000
Cr	1,022 ± 0,227	1,090	1,238 ± 0,115	4,823
Mn	7,588 ± 6,773	6,883	36,266 ± 15,850	86,831
Fe	64,742 ± 23,884	60,267	109,603 ± 24,893	737,056
Co	0,039 ± 0,017	0,038	0,178 ± 0,027	0,341
Ni	0,388 ± 0,274	0,322	0,727 ± 0,067	1,255
Cu	18,937 ± 5,053	20,017	21,611 ± 3,099	38,411
Zn	63,169 ± 8,652	63,178	60,907 ± 16,241	107,520
As	0,368 ± 0,168	0,357	0,177 ± 0,009	0,892
Se	2,063 ± 0,832	2,007	0,565 ± 0,219	1,886
Sr	1,652 ± 1,018	1,667	3,186 ± 0,576	5,230
Mo	0,024 ± 0,022	0,017	0,034 ± 0,005	0,109
Ag	0,047 ± 0,026	0,045	0,032 ± 0,003	0,128
Cd	0,022 ± 0,017	0,017	0,038 ± 0,015	0,078
Sn	0,069 ± 0,068	0,072	0,009 ± 0,008	0,426
W	0,162 ± 0,169	0,098	0,025 ± 0,008	0,511
Hg	0,031 ± 0,030	0,027	0,019 ± 0,009	0,067
Tl	0,003 ± 0,002	0,000	0,001 ± 0,000	0,008
Pb	0,358 ± 0,307	0,217	0,294 ± 0,212	1,104
Bi	0,069 ± 0,056	0,069	0,025 ± 0,006	0,196
U	0,003 ± 0,002	0,002	0,007 ± 0,000	0,032

Примечание. СТО — стандартное отклонение; Me — медиана.
Note. STD — standard deviation; Me — median.

В результате исследования образцов определены концентрации химических элементов в перьях дальневосточного аиста, гнездящегося в природном парке «Шереметьевский» в 2021–2022 гг. Подтверждаются основные закономерности накопления микроэлементов в перьях птиц. Уровни депонирования отдельных элементов имеют большой разброс данных, который проявляется в основном

для токсичных элементов антропогенного происхождения — ртути, свинца, висмута, процесс аккумуляции которых напрямую зависит от содержания элементов в пищевой цепи и окружающей среде.

Из группы эссенциальных микроэлементов в очинах перьев концентрации цинка, кобальта, меди и хрома имеют низкую вариабельность и, по-видимому, отражают положение вида в экологических

группах и параметры гомеостаза. Близкие концентрации определены для микроэлементов, которые участвуют в биогеохимических циклах, — стронция и олова. В низких концентрациях во всех образцах отмечены таллий, уран и бериллий; содержание ванадия во всех пробах ниже предела обнаружения.

Из токсичных элементов в очинах перьев значимые концентрации (от 0,013 до 0,860 мг/кг) фиксируются для свинца, висмута, кадмия и ртути, преобладает свинец (рис. 2). Другие части перьев используются в качестве элементов сравнения. Можно отметить большее сходство результатов для очин перьев (ОЧ) с пуховыми частями. Результаты концентраций для опахала контурного пера (ОП) значительно отличаются в сторону увеличения. Наибольшую долю в загрязнении из исследуемых элементов здесь дают алюминий, железо, марганец и цинк. Уровень концентраций железа и алюминия в 10 и более раз выше в пробах опахала контурного пера, чем в очинах перьев. Содержание цинка и меди соответственно выше в 1,7–2,4 раза, хрома, никеля, свинца и ртути в 3 раза выше в опахале пера.

Исследуемые элементы по уровням содержания в очинах перьев аистов составляют в образцах из природного парка «Шереметьевский» следующий ряд: Fe > Zn > Al > Cu > Mn > Se > Sr > Cr > As > W > Pb > Ni > Bi > Sn > Mo > Ag > Co > Cd > Tl > Hg > Be > U > V. Для данных контурного пера последовательность ряда отличается более высокими уровнями алюминия и марганца, определяемыми адсорбцией из внешней среды на поверхности перьев.

Микроэлементный состав водной среды определяет экологические условия обитания гидробионтов и депонирование металлов и металлоидов из объектов питания в органах водных и околородных птиц. Среди группы исследуемых элементов железо, алюминий, марганец, стронций и цинк относятся к элементам, наиболее распространенным в земной коре. Концентрации их в поверхностных водах исследуемых территорий также выше остальных, находятся в диапазоне 10–2300 мкг/дм³ со значительным преобладанием железа. Максимальные уровни этого элемента отмечены в р. Симми бассейна оз. Болонь (2274,350 мкг/дм³) и в р. Уссури (1044,153 мкг/дм³). Более

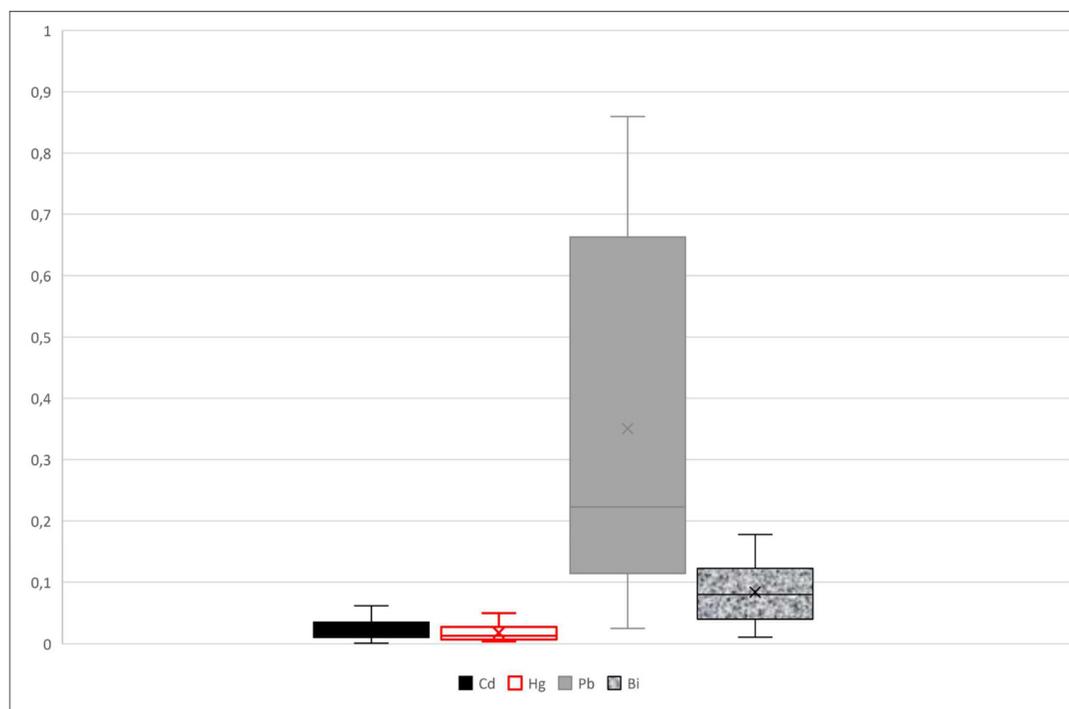
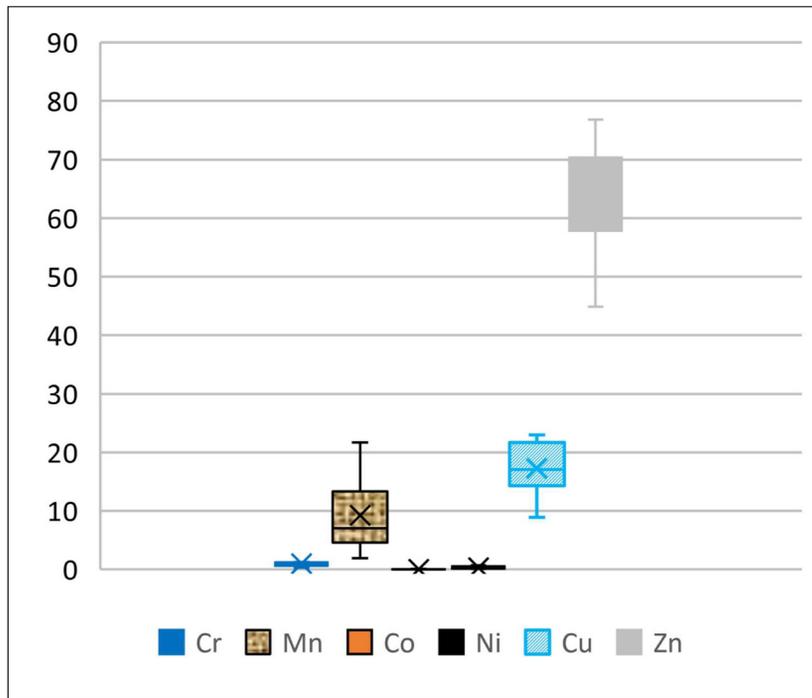
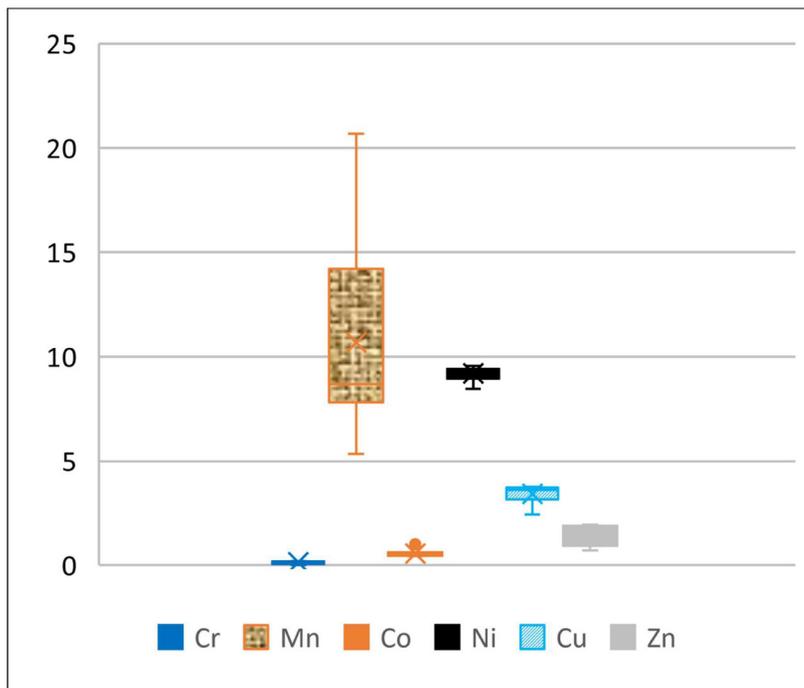


Рис. 2. Соотношение концентраций токсичных элементов в очинах перьев аиста, мг/кг
Fig. 2. Concentration ratio of toxic trace elements in the edges of stork feathers, mg/kg



A



B

Рис. 3. Соотношение концентраций биогенных микроэлементов в очинах перьев (а) и скорлупе яиц аистов (b), мг/кг

Fig. 3. Concentration ratio of biogenic trace elements in the edges of feathers (a) and eggshells (b) of storks, mg/kg

низкий уровень железа в малых озерах связан с высоким содержанием растворенного органического вещества, с которым железо образует металлорганические комплексы и выводится в донные осадки. Так, в воде оз. Цветочное природного парка «Шереметьевский», которое является кормовым для аиста, уровень железа на период исследования составил 767,551 мкг/дм³. Содержание в водных объектах кобальта и никеля, относящихся к сидерофильным элементам, также ниже в оз. Цветочном среди объектов исследования, концентрации — до 0,30 мкг/дм³ и 1,85 мкг/дм³ соответственно. Микроэлементы в воде озера образуют ряд: Fe > Al > Sr > Mn > Zn > Cu > Ni > Pb > V > Ag > Cr > As > Sn > Co > Mo > Se > U > Bi > Be > W > Cd > Hg > Tl, где первые позиции распространения повторяют порядок в ряду микроэлементов в образцах перьев, с разницей большей аккумуляции биогенных цинка и меди.

Данные результатов накопления токсичных элементов в перьях сравнимы с данными концентраций тяжелых металлов в тканях рыб из кормовых озер. Однако если коэффициент накопления ртути, кадмия и свинца в мышечной ткани рыб по отношению к содержанию их в водных объектах равен соответственно 500, 200 и 26,7 (Тагирова и др. 2018), то в очинах перьев коэффициенты накопления этих элементов достигают 2800, 2700, 359. Использование очин перьев аиста в качестве индикаторов накопления элементов в пищевых цепях позволяет зафиксировать результат аккумуляции малых доз токсикантов.

Скорлупа яиц также может служить биоиндикатором накопления микроэлементов в организме птиц (Сливинский 2013). Концентрации химических элементов в скорлупе яиц аистов, за исключением железа, никеля и стронция, определены на значительно более низком уровне, чем в перьях (рис. 3). Образование исследуемых производных в организме аистов отличается по времени: развитие маховых перьев длится более 1 месяца (Андропова неопубл. данные), на образование яйца у птиц уходит более одних суток (Кривопишин, Злочевская 1990).

Сравнительный анализ концентраций элементов в скорлупе яиц аистов из двух мест гнездования — природного парка «Шереметьевский» и заповедника «Болоньский» — определил близкие уровни депонирования как биогенных: алюминий (47,99–50,213 мг/кг соответственно), железо (1062,53–945,416 мг/кг), молибден (0,037–0,021 мг/кг), так и токсичных микроэлементов: вольфрам (0,121–0,135 мг/кг), ртуть (0,001–0,001 мг/кг), свинец (0,099–0,094 мг/кг).

Различия отмечены для меди (в 2,5 раза), никеля и стронция (в 1,6 раза), превышение определено в пробах скорлупы из природного парка «Шереметьевский» бассейна Усури; напротив, для марганца (в 2,4 раза) и кобальта (в 2,2 раза) — выше в пробах из гнезд аистов бассейна оз. Болонь. Это подтверждает отражение геохимической специфики районов гнездования на уровни накопления элементов в скорлупе яиц. Преобладание сидерофильных элементов — марганца, кобальта и железа — характерно для водно-болотных местобитаний государственного природного заповедника «Болоньский» (Никитина 2013).

Заключение

Получены первичные данные содержания микроэлементов, в том числе тяжелых металлов, в биологических образцах дальневосточного аиста из ООПТ Хабаровского края — природного парка «Шереметьевский» и государственного природного заповедника «Болоньский». Результаты исследований позволяют сделать вывод о возможности использования биологических производных — линных перьев и скорлупы яиц в качестве индикаторов экологического состояния птиц. Неинвазивный отбор проб, несомненно, дает преимущество перед другими методами исследований. Известно, что сообщества птиц, которые сформировались в ходе естественного эволюционного процесса в конкретных условиях физико-географической среды, характеризуются определенным составом и уровнем химических элементов в органах и

тканях. Если состав опахала линных перьев интегрально отражает загрязнение среды обитания птиц как в районах гнездования, так и на зимовке, то накопление микроэлементов в очинах больше связано с депонированием их из кормовой цепи и может отражать физиологическое состояние птенцов. Скорлупа яиц имеет свои ограничения в использовании в качестве биоиндикатора по причине быстрой утилизации в природе, однако при достаточной чувствитель-

ности метода определения элементов и при наборе реперных данных вполне может применяться для оценки накопления поллютантов в местах гнездования. Создание базы данных содержания микроэлементов в биологических образцах редких птиц на ООПТ дает возможность оценить изменение во времени уровней накопления токсикантов под воздействием загрязнения и дать прогноз состояния популяции на этой территории.

Литература

- Андронов, В. А., Ардамацкая, Т. Б., Артюхин, Ю. Б. и др. (2011) Дальневосточный аист *Ciconia boyciana* Swinhoe 1873. В кн.: С. Г. Приклонский, В. А. Зубакин, Е. А. Коблик (ред.). *Птицы России и сопредельных территорий: Пеликанообразные. Аистообразные. Фламингообразные*. М.: КМК, с. 416–429.
- Андропова, Р. С. (2000) Заметки о линьке у дальневосточного аиста (*Ciconia boyciana* Swinh.). В кн.: Н. М. Литвиненко (ред.). *Дальневосточный аист в России: Материалы совещания «Дальневосточный аист: состояние популяции и стратегия сохранения»*. Владивосток, 13–15 ноября, 1999 г. Владивосток: Дальнаука, с. 86–88.
- Войткевич, А. А. (1962) *Перо птицы: морфология, развитие, линька и нейрогормональная регуляция*. М.: Изд-во АН СССР, 285 с.
- Добровольская, Е. В. (1984) Аккумуляция тяжелых металлов в перьевом покрове птиц. *Известия АН СССР. Серия биологическая*, № 2, с. 302–305.
- Добровольская, Е. В. (2004) Тяжелые металлы в оперении птиц как природная метка. В кн.: *Пищевые ресурсы дикой природы и экологическая безопасность населения: Материалы международной конференции (16–18 ноября 2004 г., г. Киров, Россия)*. Киров: ВНИИОЗ, с. 122–124.
- Еськов, Е. К., Кирьякулов, В. М. (2008) Содержание тяжелых металлов в тканях уток, оседло зимующих в Московской области. *Сельскохозяйственная биология*, № 6, с. 115–118.
- Красная книга Российской Федерации. Животные*. (2021) 2-е изд. М.: Изд-во ВНИИ Экология, 1128 с.
- Кривопишин, И. П., Злочевская, К. В. (1990) *Инкубация*. М.: Агропромиздат, 239 с.
- Лебедева, Н. В. (1999) *Экотоксикология и биогеохимия географических популяций птиц*. М.: Наука, 199 с.
- Никитина, И. А. (2013) Микроэлементы в экосистеме водно-болотных угодий бассейна Амура. В кн.: В. В. Ермаков (ред.). *Биогеохимия и биохимия микроэлементов в условиях техногенеза биосферы: Материалы VIII международной Биогеохимической Школы*. М.: ГЕОХИ РАН, с. 85–89.
- Сливинский, Г. Г. (2013) Линные перья и яичная скорлупа водоплавающих птиц как неинвазивные биоиндикаторы экологического состояния аквальных экосистем. *Вестник КазНУ. Серия экологическая*, № 1 (37), с. 124–133.
- Степанова, М. В. (2020) Определение содержания химических элементов в перьях журавлей как метод оценки состояния здоровья. *Международный вестник ветеринарии*, № 4, с. 49–56.
- Тагирова, В. Т., Андропова, Р. С. (ред.). (2018) *Дальневосточная черепаха озера Гасси*. Хабаровск: Хабаровская краевая типография, 173 с.
- Чернова, Е. Н., Коженкова, С. И. (2020) Пространственная оценка загрязнения залива Петра Великого (Японское море) металлами с помощью бурой водоросли *SARGASSUM MIYABEI*. *Океанология*, т. 60, № 1, с. 49–56. <https://doi.org/10.31857/S0030157420010050>
- Borghesi, F., Dinelli, E., Migani, F. et al. (2017) Assessing environmental pollution in birds: A new methodological approach for interpreting bioaccumulation of trace elements in feather shafts using geochemical sediment data. *Methods in Ecology and Evolution*, vol. 8, no. 1, pp. 96–108. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12644>
- Burger, J. (1993) Metals in avian feathers: bioindicators of environmental pollution. *Review of Environmental Contaminant Toxicology*, vol. 5, pp. 203–311.
- Kelsall, J. P., Pannekoek, W. J., Burton, R. (1975) Chemical variability in plumage of wild lesser snow geese. *Canadian Journal of Zoology*, vol. 53, no. 9, pp. 75–163. <https://doi.org/10.1139/z75-163>

Markowski, M., Kaliński, A., Skwarska, J. et al. (2013) Avian feathers as bioindicators of the exposure to heavy metal contamination of food. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, vol. 91, no. 3, pp. 302–305. <https://doi.org/10.1007/s00128-013-1065-9>

References

- Andronova, R. S. (2000) Zametki o lin'ke u dal'nevostochnogo aista (*Ciconia boyciana* Swinh) [Notes about molting of the Far Eastern stork (*Ciconia boyciana* Swinh)]. In: N. M. Litvinenko (ed.). *Dal'nevostochnyj aist v Rossii: Materialy soveshchaniya "Dal'nevostochnyj aist: sostoyanie populyatsii i strategiya sokhraneniya"*. Vladivostok, 13–15 noyabrya, 1999 g. [Far Eastern stork in Russia: Materials of the meeting "Far Eastern Stork: Population status and conservation Strategy". 13–15 November, 1999]. Vladivostok: Dalnauka Publ., pp. 86–88. (In Russian)
- Andronov, V. A., Ardamatskaya, T. B., Artukhin, Yu. B. et al. (2011) Dal'nevostochnyj aist *Ciconia boyciana* Swinhoe 1873 [Far Eastern stork *Ciconia boyciana* Swinhoe 1873]. In: S. G. Priklonskij, V. A. Zubakin, E. A. Koblik (eds.). *Ptitsy Rossii i sopredel'nykh territorij: Pelikanoobraznye. Aistoobraznye. Flamingoobraznye* [Birds of Russia and adjacent territories: Pelecaniformes. Storks. Phoenicopteriformes]. Moscow: KMK Scientific Press, pp. 416–429. (In Russian)
- Borghesi, F., Dinellim, E., Migani, F. et al. (2017) Assessing environmental pollution in birds: A new methodological approach for interpreting bioaccumulation of trace elements in feather shafts using geochemical sediment data. *Methods in Ecology and Evolution*, vol. 8, no. 1, pp. 96–108. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12644> (In English)
- Burger, J. (1993) Metals in avian feathers: Bioindicators of environmental pollution. *Review of Environmental Contaminant Toxicology*, vol. 5, pp. 203–311. (In English)
- Chernova, E. N., Kozhenkova, S. I. (2020) Prostranstvennaya otsenka zagryazneniya zaliva Petra Velikogo (Yaponskoe more) metallami s pomoshch'yu buroj vodorosli *SARGASSUM MIYABEI* [Spatial Assessment of metal contamination in Peter the Great Bay (Sea of Japan) using the Brown Algae *SARGASSUM MIYABEI*]. *Okeanologiya — Oceanology*, vol. 60, no. 1, pp. 49–56. <https://doi.org/10.31857/S0030157420010050> (In Russian)
- Dobrovol'skaya, E. V. (1984) Akkumulirovanie tyazhelykh metallov v per'evom pokrove ptits [Accumulation of heavy metals in the feather cover of birds]. *Izvestiya AN SSSR. Seriya Biologicheskaya — Proceedings of the USSR Academy of Sciences. Biological Series*, no. 2, pp. 302–305. (In Russian)
- Dobrovol'skaya, E. V. (2004) Tyazhelye metally v operenii ptits kak prirodnyy metka [Heavy metals in bird plumage as a natural marker]. In: *Pishchevye resursy dikoj prirody i ekologicheskaya bezopasnost' naseleniya: Materialy mezhdunarodnoj konferentsii (16–18 noyabrya 2004 g., g. Kirov, Rossiya) — Food resources of wildlife and environmental safety of the population: Materials of the international conference (16–18 November 2004, Kirov, Russia)*. Kirov: VNIIOZ Publ., pp. 122–124. (In Russian)
- Es'kov, E. K., Kir'yakulov, V. M. (2008) Soderzhanie tyazhelykh metallov v tkanyakh utok, osedlo zimuyushchikh v Moskovskoy oblasti [Content of heavy metals in the body of ducks, settled wintering in the Moscow region]. *Sel'skokhozyajstvennaya biologiya — Agricultural biology*, no. 6, pp. 115–118. (In Russian)
- Krivopishin, I. P., Zlochevskaya, K. V. (1990) Inkubatsiya [Incubation]. Moscow: Agropromizdat Publ., 239 p. (In Russian)
- Kelsall, J. P., Pannekoek, W. J., Burton, R. (1975) Chemical variability in plumage of wild lesser snow geese. *Canadian Journal of Zoology*, vol. 53, no. 9, pp. 75–163. <https://doi.org/10.1139/z75-163> (In English)
- Lebedeva, N. V. (1999) Ekotoksikologiya i biogeokhimiya geograficheskikh populyatsij ptits [Ecotoxicology and biogeochemistry of geographic bird populations]. Moscow: Nauka Publ., 199 p. (In Russian)
- Markowski, M., Kaliński, A., Skwarska, J. et al. (2013) Avian feathers as bioindicators of the exposure to heavy metal contamination of food. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, vol. 91, no. 3, pp. 302–305. <https://doi.org/10.1007/s00128-013-1065-9> (In English)
- Nikitina, I. A. (2013) Mikroelementy v ekosisteme vodno-bolotnykh ugodij bassejna Amura [Trace elements in the wetland ecosystem of the Amur basin]. In: V. V. Ermakov (ed.). *Biogeokhimiya i biokhimiya mikroelementov v usloviyakh tekhnogeneza biosfery: Materialy VIII mezhdunarodnoj Biogeokhimicheskoy Shkoly — Biogeochemistry and biochemistry of the trace elements in conditions of technogenesis of the biosphere: Materials of the VIII International Biogeochemical School*. Moscow: GEOKHI RAS Publ., pp. 85–89. (In Russian)
- Krasnaya kniga Rossijskoj Federatsii. Zhivotnye [Red Data Book of the Russian Federation. Animals]. (2021) 2nd ed. Moscow: VNII Ecology Publ., 1128 p. (In Russian)

- Slivinskij, G. G. (2013) Linnye per'ya i yaichnaya skorlupa vodoplavayushchikh ptits kak neinvazivnye bioindikatory ekologicheskogo sostoyaniya akval'nykh ekosistem [Moulting feathers and egg shell of waterfowl as a noninvasive bioindicators of ecological status of aquatic ecosystems]. *Vestnik KazNU. Seriya ekologicheskaya. — KazNU Bulletin. Ecology series*, no. 1 (37), pp. 124–133. (In Russian)
- Stepanova, M. V. (2020) Opredelenie sodержaniya khimicheskikh elementov v per'yakh zhuravlej kak metod otsenki sostoyaniya zdorov'ya [Determination of the content of chemical elements in crane feathers as a method of the health assessment]. *Mezhdunarodnyj vestnik veterinarii — International Bulletin of Veterinary Medicine*, no. 4, pp. 49–56. (In Russian)
- Tagirova, V. T., Andronova, R. S. (ed.). (2018) *Dal'nevostochnaya cherepakha ozera Gassi [Far Eastern turtle of Lake Gussi]*. Khabarovsk: Khabarovsk Regional Printing House, 173 p. (In Russian)
- Vojtkевич, А. А. (1962) *Pero ptitsy: morfologiya, razvitie, lin'ka i nejrogormonal'naya regulyatsiya [Bird feather: Morphology, development, molting and neurohormonal regulation]*. Moscow: Academy of Sciences of the USSR Publ., 285 p. (In Russian)

Для цитирования: Никитина, И. А., Андропова, Р. С. (2024) Использование линных перьев и скорлупы яиц для мониторинга популяций редких видов птиц (на примере ООПТ). *Амурский зоологический журнал*, т. XVI, № 1, с. 117–127. <https://www.doi.org/10.33910/2686-9519-2024-16-1-117-127>

Получена 26 декабря 2023; прошла рецензирование 19 февраля 2024; принята 20 февраля 2024.

For citation: Nikitina, I. A., Andronova, R. S. (2024) Molting feathers and eggshells in monitoring rare bird species populations: Evidence from special protected natural territories. *Amurian Zoological Journal*, vol. XVI, no. 1, pp. 117–127. <https://www.doi.org/10.33910/2686-9519-2024-16-1-117-127>

Received 26 December 2023; reviewed 19 February 2024; accepted 20 February 2024.